

OFFRE DÉCOUVERTE

ABONNEZ-VOUS À **POUR LA SCIENCE**



1 AN - 12 N^{os}
59€ **24% d'économie**

2 ANS - 24 N^{os}
110€ **29% d'économie**

3 ANS - 36 N^{os}
159€ **32% d'économie**

BULLETIN D'ABONNEMENT

POUR LA SCIENCE

À renvoyer accompagné de votre règlement à : Pour la Science - Service abonnements - 19 rue de l'Industrie - BP 90 053 - 67 402 Illkirch cedex

☐ **OUI, je m'abonne à Pour la Science en formule Découverte :**

- ☐ 1 an • 12 numéros • **59€** au lieu de 78,50€ (D1A59E)
- ☐ 2 ans • 24 numéros • **110€** au lieu de 157€ (D2A110E)
- ☐ 3 ans • 36 numéros • **159€** au lieu de 235,50€ (D3A159E)

MES COORDONNÉES

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal : _____

Ville : _____

Tél. : _____

Pour le suivi client (facultatif)

MON MODE DE RÈGLEMENT

☐ Par chèque à l'ordre de Pour la Science

☐ Par carte bancaire

N° _____

Date d'expiration _____ Clé _____

Signature obligatoire



PAS475B

Mon e-mail pour recevoir la newsletter Pour la Science (à remplir en majuscule). _____@_____

Grâce à votre email nous pourrions vous contacter si besoin pour le suivi de votre abonnement. À réception de votre bulletin, comptez 5 semaines pour recevoir votre n° d'abonné. Passé ce délai, merci d'en faire la demande à pourlascience@abopress.fr

J'accepte de recevoir les informations de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON et de ses partenaires ☐ OUI ☐ NON

Délai de livraison: dans le mois suivant l'enregistrement de votre règlement. Offre réservée aux nouveaux abonnés, valable jusqu'au 31/08/17 en France métropolitaine uniquement. Pour un abonnement à l'étranger, merci de consulter notre site www.pourlascience.fr. Conformément à la loi "Informatique et libertés" du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données vous concernant en adressant un courrier à Pour la Science.

Dans les greniers des lycées

Fruit d'un périple de longue haleine dans les oubliettes des lycées, un beau livre présente près de 1 000 instruments ayant servi à enseigner la physique du XVIII^e siècle au milieu du XX^e... Des trésors à remettre au goût du jour !

Francis Gires

Culbuteur de Hardy, passe-vent de Galilée, presse pour lentille de glace, graphomètre à pinnules, globe étincelant, œuf électrique, grand prisme de paraffine, morsophone, parafoudre à cornes, arrosoir magique, coupe-pommes, cloche de verre aux quatre perles... Partout en France, des collèges, lycées et universités recèlent des collections d'étranges objets. Depuis 2003, notre association a répertorié plus de 5 500 instruments, issus d'une soixantaine d'établissements, dont elle a réalisé autant de fiches sur son site où l'inventaire se poursuit. Ce patrimoine, aujourd'hui présenté dans une encyclopédie, témoigne d'un temps où l'enseignement de la physique partait de l'expérience.

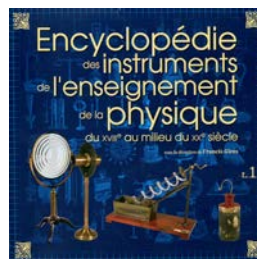
La physique expérimentale est née au milieu du XVIII^e siècle sous l'influence de l'abbé Jean Antoine Nollet. En 1746, à Versailles, devant le roi Louis XV et sa cour, l'abbé fit une démonstration qui marqua les esprits : il donna une commotion électrique à une rangée de 180 gardes se tenant la main. Dès lors, tous les salons le réclamèrent et son cours de physique fit salle comble, tandis que les cabinets de physique se multipliaient dans les milieux nobles et bourgeois.

Le métier de constructeur d'instruments prit ainsi son essor et, en 1852, l'enseignement de la physique en classe, resté anecdotique devant celui des humanités classiques, s'affirma à son tour : le ministère de l'Instruction publique créa un cursus scientifique à part entière, recommandant de « partir de l'expérience fondamentale toutes les fois que le sujet le permet », et alloua des crédits importants à l'achat de matériel scientifique.

Ainsi débuta l'âge d'or de la construction instrumentale, qui dura un demi-siècle et constitua l'essentiel des cabinets de physique et d'histoire naturelle des lycées. Aujourd'hui, ces instruments sont plus que jamais utiles : aucun écran, aucun livre ne fixeront aussi bien les phénomènes physiques dans l'esprit des lycéens que leur perception directe. ■

© F. Gires, lycée Bertran-de-Born, Périgueux / Toutes les photos de gravures sont de F. Gires





Trois tomes sous coffret,
1 350 pages, 100 euros,
Aseiste, 2016

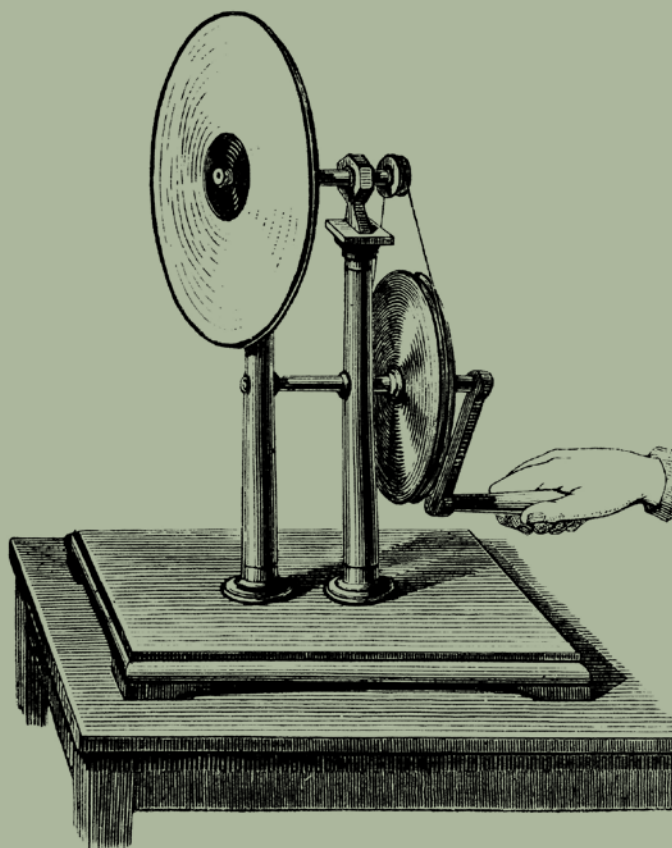
■ L'AUTEUR

Francis GIRES, président de l'Association de sauvegarde et d'étude des instruments scientifiques et techniques de l'enseignement (Aseiste), a dirigé la publication de l'*Encyclopédie des instruments de l'enseignement de la physique du XVIII^e siècle au milieu du XX^e siècle*.

Bon de commande disponible sur www.aseiste.org.

DISQUE DE NEWTON

Cet instrument inspiré de la théorie de Newton sur les couleurs montre que la superposition des rayonnements visibles du spectre solaire reconstitue la lumière blanche. Sur le disque sont peints des secteurs présentant les couleurs du spectre solaire dans l'ordre où elles se suivent et avec des surfaces ajustées. Fixé à un support muni de deux poulies reliées par une courroie sans fin, le disque est mis en rotation à l'aide d'une manivelle. Quand il tourne vite, les images des différents secteurs se forment successivement sur la rétine, mais, du fait de la persistance rétinienne, la lumière est perçue comme de la lumière blanche. Si les surfaces sont mal ajustées, le disque prend la couleur du secteur de trop grande superficie, en plus pâle.



HÉMISPÈRES DE MAGDEBOURG

Ces deux hémisphères creux en laiton mettent en évidence le vide. Leurs bords, garnis d'une rondelle de cuir enduite de suif, forment un contact hermétique. L'hémisphère inférieur porte un robinet, l'autre un anneau qui sert de poignée.

Initialement, les deux hémisphères ne sont pas solidaires. On visse l'hémisphère inférieur sur une pompe à vide et l'on pose le second sur le premier. La pompe mise en route, l'air se raréfie dans les hémisphères.

On referme le robinet et l'on retire la pompe. Il est alors impossible de séparer les deux hémisphères : la pression atmosphérique extérieure les maintient soudés. Quand on ouvre le robinet, en revanche, l'air remplit les hémisphères, qui se séparent alors facilement : la pression s'est équilibrée de part et d'autre de la paroi. Le physicien allemand Otto de Guericke, bourgmestre de Magdebourg, présenta cette expérience en 1654 à l'empereur Ferdinand III : des attelages de quinze chevaux ne parvinrent pas à détacher deux hémisphères de 50 centimètres de diamètre. La nouvelle se répandit dans toute l'Europe !

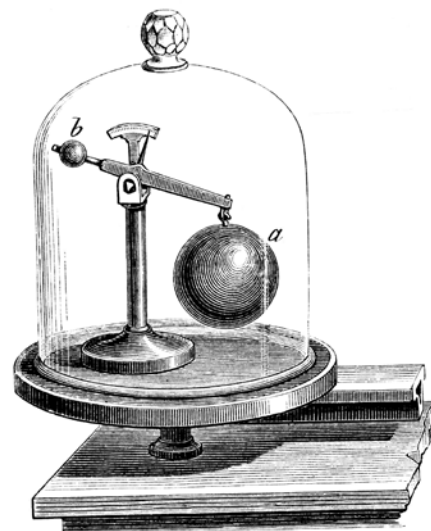
© Marie-Solange Wachowiak, lycée Jacques-Amyot, Auxerre



BAROSCOPE

Tout corps plongé dans un gaz subit une poussée verticale vers le haut qui dépend du volume de gaz déplacé, selon le principe d'Archimède. C'est ce que prouve ce fléau de balance, portant à ses extrémités deux corps (a et b) de volumes très différents. Ayant équilibré le baroscope dans l'air, on le place sous la cloche d'une pompe à vide. Dès que l'air se raréfie, le fléau penche du côté du corps le plus volumineux (a), la poussée due à l'air qui le soutenait ayant disparu.

© F. Gires, lycée Guez-de-Balzac, Angoulême

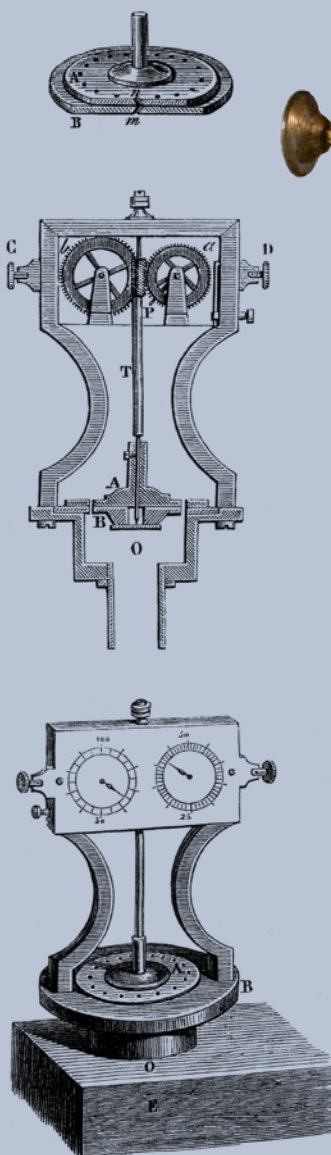
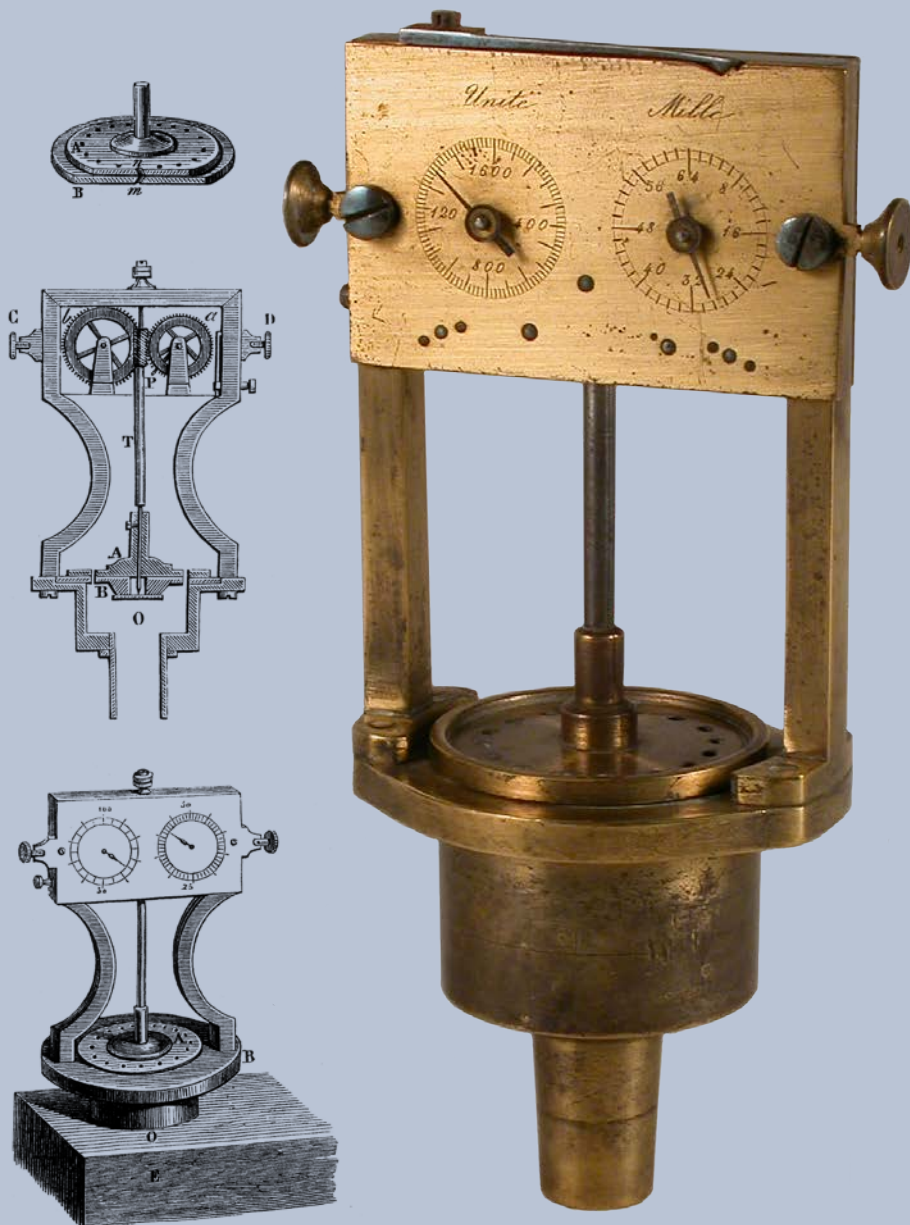


© Pour la Science - n° 475 - Mai 2017

SIRÈNE DE CAGNIARD-LATOUR

Le physicien français Charles Cagniard de Latour a inventé cet appareil en 1819 pour mesurer la fréquence d'un son. La sirène est constituée d'une boîte cylindrique O qui communique par sa base avec une soufflerie, d'un disque mobile A et d'un compte-tours (partie supérieure). Le couvercle B de la boîte est percé de dix-huit trous inclinés (m) et le disque mobile porte le même nombre de trous, inclinés en sens inverse (n). Au centre, un axe T solidaire du disque entraîne des roues dentées (a et b) associées à des aiguilles qui affichent sur des cadrans le nombre de tours effectués par le disque. Quand de l'air est soufflé dans la boîte, le disque A tourne. Lorsque ses trous sont en face de ceux du couvercle B, de l'air les traverse et vibre. Un son est émis, dont on détermine la fréquence en multipliant le nombre de trous du disque par le nombre de tours qu'il effectue en une seconde. Pour trouver la fréquence d'un son émis par un instrument, on met la sirène à l'unisson avec l'instrument en agissant sur la soufflerie et l'on détermine sa fréquence. Il s'agit donc d'avoir une bonne oreille !

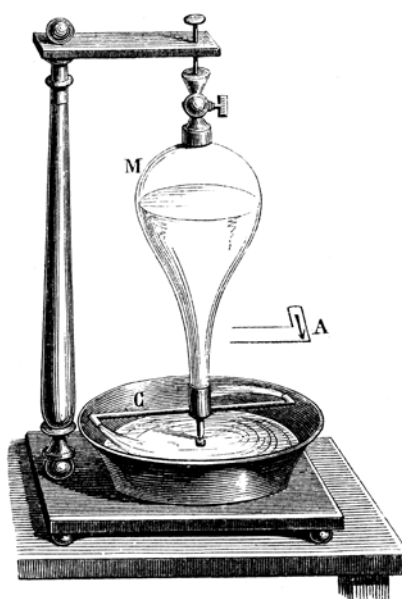
© F. Gires, lycée Bertran-de-Born, Périgueux



TOURNIQUET HYDRAULIQUE

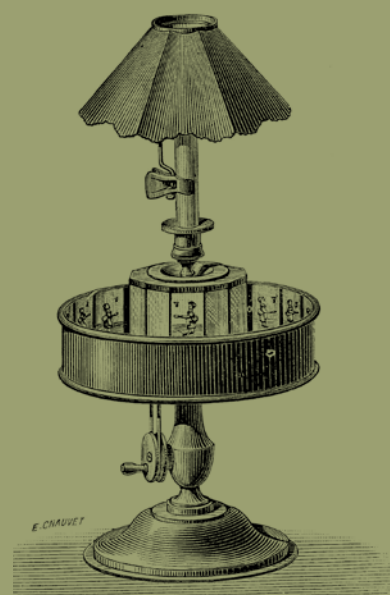
Savez-vous comment fonctionnent les tourniquets d'arrosage ? Grâce aux forces pressantes que le liquide exerce sur les parois de l'appareil, comme dans l'instrument ci-contre – un vase M mobile autour d'un axe vertical, muni d'un petit orifice au sommet et, à sa base, de deux tubes C horizontaux et coudés. Quand on remplit le vase, l'appareil tourne tant que l'eau s'écoule : l'air qui entre lors de l'écoulement exerce une pression sur l'eau, laquelle presse aussi les parois du vase et des tubes. Des couples de forces apparaissent ainsi dans les tubes, qui tournent et entraînent le vase.

© F. Gires, lycée Guez-de-Balzac, Angoulême



PRAXINOSCOPE DE REYNAUD

Émile Reynaud, enseignant-conférencier en sciences, inventa ce jouet optique en 1876. Constitué d'un prisme de douze miroirs faisant face à une bande de douze dessins montrant les différentes étapes d'une action, il donne l'illusion que celle-ci est continue lorsque l'on fait tourner la bande à l'aide d'une manivelle : les images se succèdent si vite que les spectateurs qui les observent défilent sur le prisme de glaces voient un mouvement continu à cause de la persistance des impressions lumineuses sur la rétine. Un bougeoir entouré d'un abat-jour permet d'opérer même de nuit.

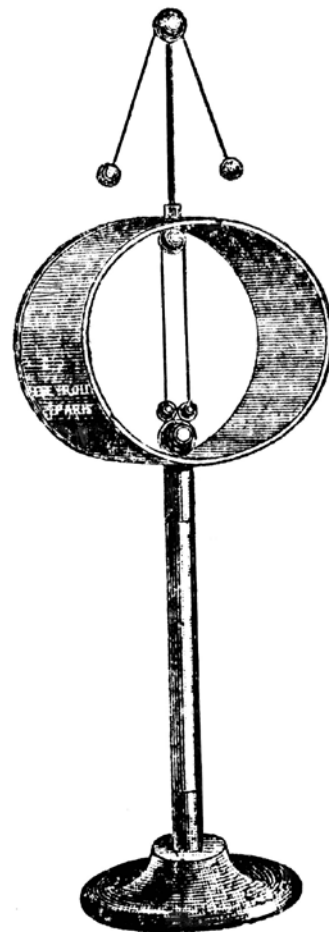




© F. Gires, Ivete Guez-de-Balzac, Angoulême

CYLINDRE OUVERT DE MASCART

Lors d'un orage, l'électricité atmosphérique reste à la surface des carrosseries métalliques des automobiles ou des avions, et les passagers sont protégés. C'est le même phénomène que met en évidence le dispositif imaginé par Eleuthère Mascart, professeur de physique au Collège de France, dans la seconde moitié du XIX^e siècle. Un cylindre creux conducteur en laiton est isolé sur un pied de bois. Dans son prolongement, une tige métallique, fixée sur le cylindre, porte deux pendules électriques (des billes en moelle de sureau suspendues à des fils de lin). Dans le cylindre, deux autres pendules sont en contact avec sa surface intérieure. Quand on électrise le cylindre, les pendules extérieurs divergent aussitôt, tandis que ceux à l'intérieur restent immobiles. On en conclut que seule la surface extérieure est chargée. Les charges électriques sur cette surface n'exercent aucune influence sur tout point à l'intérieur du conducteur, qui forme un écran électrique pour tout ce qu'il contient.

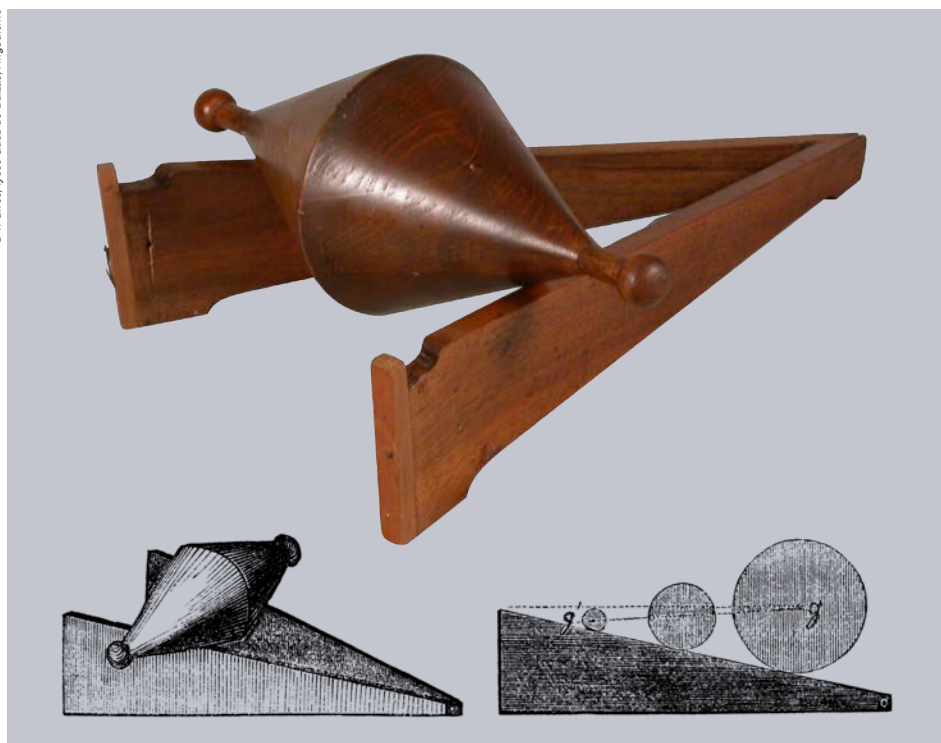


DOUBLE CÔNE DE NOLLET

« Il est beaucoup plus aisé de trouver de l'argent qu'un homme comme lui », disait Voltaire de l'abbé Jean Antoine Nollet, l'un des plus grands vulgarisateurs scientifiques européens du XVIII^e siècle. La démonstration du bicône est une des nombreuses expériences de physique décrites pour la première fois en France dans ses ouvrages. Elle illustre le fait que la stabilité d'un corps correspond à la position la plus basse de son centre de gravité, même si le mouvement qui conduit à cette position contredit l'intuition.

L'objet comporte un double cône et deux planchettes identiques formant un angle aigu entre elles. Les bords supérieurs des planchettes constituent une sorte de plan incliné. On pose le bicône sur la partie inférieure du plan incliné. Il « remonte » alors le plan en tournant, suivant ainsi un mouvement en apparence contraire à celui des corps pesants. Mais en mesurant l'altitude du centre de gravité g du bicône au cours de son mouvement, on constate qu'elle décroît. En d'autres termes, le centre de gravité descend bien quand le bicône remonte la pente, et la loi du mouvement des corps pesants est donc validée...

© F. Gires, Ivete Guez-de-Balzac, Angoulême



LOGIQUE & CALCUL

Quand considère-t-on qu'un théorème est définitivement prouvé ?

Renforcer la confiance qu'on a dans la démonstration d'un théorème difficile est possible. Il faudrait le faire pour le grand théorème de Fermat.

Jean-Paul DELAHAYE

Le « dernier théorème de Fermat » (ou « grand théorème de Fermat », ou « théorème de Fermat-Wiles ») affirme que si n est un entier supérieur à 2, alors il n'existe pas de triplets d'entiers positifs x, y, z tels que $x^n + y^n = z^n$. Il est considéré comme démontré depuis 1995. Andrew Wiles a d'ailleurs obtenu le prix Abel en 2016 pour sa contribution déterminante à la preuve de ce théorème.

Peu de gens comprennent le détail de la démonstration, dont la partie finale a été publiée par Andrew Wiles dans la prestigieuse revue *Annals of Mathematics*. Les experts compétents sont cependant tous d'accord pour dire qu'il n'y a aucune faille dans le raisonnement exposé. Depuis, plusieurs livres ont présenté aussi complètement que possible la démonstration. On peut avoir confiance : la preuve d'un théorème aussi célèbre est examinée en détail par une armée de mathématiciens intransigeants. La probabilité qu'il reste une erreur est infime.

Formaliser pour une meilleure garantie

Pourtant, les logiciens considèrent qu'on peut perfectionner la preuve et rendre le résultat plus sûr. Pourquoi ? Pour plus de certitude, il faudrait disposer d'une version formelle complète de la preuve, ou, ce qui revient au même, d'une version écrite de la preuve vérifiable par ordinateur. Les très longues preuves sont difficiles à formaliser,

car chaque pas d'un raisonnement formel, aussi infime ou évident soit-il, doit y être détaillé et se conformer à des règles fixées une fois pour toutes. Pas question dans une preuve formelle d'écrire « Le cas $n = 5$ se traite comme le cas $n = 3$ », ou les traditionnels « On vérifie aisément que... », « Laissé en exercice au lecteur » ou « Trivial ».

Les outils informatiques d'écriture des démonstrations formelles, nommés « assistants de preuve », permettent de construire progressivement et minutieusement ces preuves ultimes, et réduisent donc le risque d'erreur bien plus encore que les vérifications humaines. Mentionnons quelques théorèmes que l'on a ainsi réussi à formaliser.

– Le théorème des quatre carrés de Lagrange : tout entier positif s'écrit comme la somme de quatre carrés (par exemple, $23 = 9 + 9 + 4 + 1$).

– Le théorème fondamental de l'algèbre : un polynôme de degré n à coefficients complexes a exactement n racines (en comptant les multiplicités de celles-ci).

– Transcendance du nombre $e = \exp(1) = 2,718\ 281\ 828\ 459\dots$: e n'est la racine d'aucun polynôme à coefficients entiers.

– Le premier théorème d'incomplétude de Gödel : tout système formel non contradictoire pour l'arithmétique ou une théorie plus puissante permet d'exprimer des énoncés E qu'il ne peut pas démontrer, et dont il ne peut pas démontrer la négation, non(E).

– Le théorème des nombres premiers de Hadamard et de La Vallée Poussin : la

densité des nombres premiers autour de l'entier n est approximativement $1/\ln(n)$.

Notons aussi que les cas particuliers du théorème de Fermat-Wiles pour $n = 3$ et $n = 4$ ont été vérifiés par la méthode des assistants de preuve.

Reste que certaines preuves humaines sont trop complexes encore pour qu'on ait su les transformer en preuves informatiques. C'est le cas pour le grand théorème de Fermat. Il y a une raison profonde à cette difficulté de formalisation, qui est un sujet de préoccupation pour les logiciens lié à la façon dont un résultat mathématique prend du sens. Le programme de travail supplémentaire qu'ils mènent sur la preuve d'Andrew Wiles est une tentative utile de limiter les hypothèses implicites sur lesquelles la preuve aujourd'hui admise s'appuie, en même temps d'ailleurs qu'une approche pour aboutir à l'écriture d'une preuve formelle.

Notons que les assistants de preuve, qu'il ne faut pas confondre avec les outils de démonstration automatique (qui, eux, cherchent les démonstrations) ne font qu'aider le mathématicien : celui-ci reste aux commandes et propose les éléments organisant les démonstrations. Selon Wim Hesselink, spécialiste néerlandais du sujet, « Ces outils ne sont presque jamais capables de prouver seuls un théorème. Ils vérifient la validité des arguments que les humains leur présentent. »

Pour comprendre pourquoi travailler à améliorer et à reformuler la preuve